

Pengaruh Gradien Medan Listrik Terhadap Kecepatan Sel Telur Ikan pada Proses Dielektroforesis

Much. Azam

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Diponegoro, Semarang

Abstrak

Pada fenomena dielektroforesis yang terjadi pada sel telur ikan mas (*Cyprinus Carpio*) di dalam medan listrik AC, besar dan arah gaya dielektroforesis dapat ditentukan dari kecepatan gerak sel. Gaya ini diturunkan dari hasil interaksi antara medan listrik luar dengan momen dipol listrik induksi dalam sel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya dielektroforesis berbanding lurus dengan gradien medan listrik kuadrat (∇E^2). Besar gradien ini dipengaruhi oleh beda tegangan antara dua elektroda.

Kata Kunci : Dielektroforesis, Membran sel, Sel telur.

Pendahuluan

Dielektroforesis didefinisikan sebagai gerak lateral yang terjadi pada partikel tak bermuatan yang terpolarisasi akibat induksi oleh medan listrik AC tak seragam. [1]. Hasil simulasi dengan menggunakan sel telur ikan mas menunjukkan bahwa perbedaan nilai parameter dielektrik (permitivitas), konduktansi listrik sel, medium sel dan jari-jari sel berpengaruh terhadap tampilan spektrum frekuensi pada proses dielektroforesis. Masing-masing parameter memiliki pengaruh yang berbeda pada daerah frekuensi medan listrik AC yang berbeda [2].

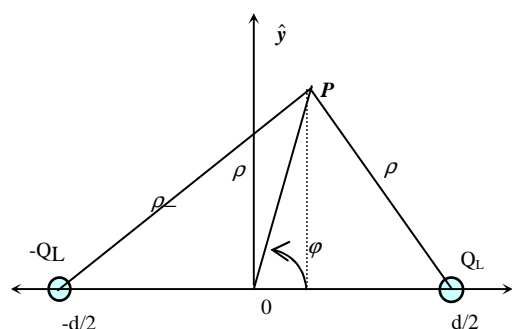
Secara teoritik, selain sifat fisis dari sel dan frekuensi medan listrik AC, gradien kuadrat medan listrik juga berpengaruh terhadap gaya dan proses dielektroforesis.

Pada tulisan ini akan dibahas hasil eksperimen yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh gradien kuadrat medan listrik AC terhadap kecepatan gerak sel telur ikan mas.

Dasar Teori

Medan listrik tak seragam dapat dihasilkan dari dua buah elektroda yang berbentuk silinder dan disusun sejajar, masing-masing mempunyai panjang L dan jari-jari a (gambar 1). Kedua elektroda terpisah sejauh d dan permitivitas medium di antaranya adalah ϵ_s . Potensial di titik P yang disebabkan oleh kedua elektroda (muatan persatuan panjang Q_L dan $-Q_L$) memenuhi persamaan [4]:

$$\phi(\rho, \varphi) = \frac{Q_L}{4\pi\epsilon_s} \ln \left(\frac{(\frac{d}{2})^2 + \rho^2 + 2(\frac{d}{2})\rho \cos \varphi}{(\frac{d}{2})^2 + \rho^2 - 2(\frac{d}{2})\rho \cos \varphi} \right) \quad (1)$$



Gambar 1 Dua buah elektroda berbentuk silinder sejajar dan berjarak d, diukur dari pusat silinder [4].

Jika antara dua elektroda diberi beda potensial V maka muatan per satuan panjang Q_L pada masing-masing elektroda dapat dituliskan sebagai berikut [3]:

$$Q_L = \pi\epsilon_s V \ln \left[\frac{a}{d-a} \right] \quad (2)$$

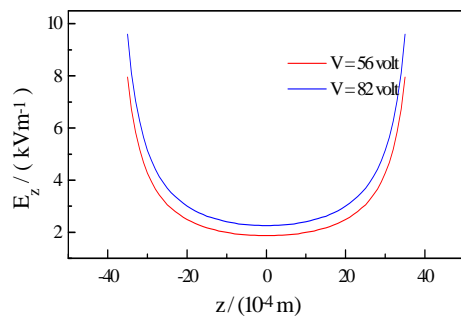
Jika persamaan (2) disubstitusikan kedalam persamaan (1) dan hasilnya dikenai operator del (∇), maka dengan bantuan aturan cosinus, persamaan komponen-komponen kuat medan listrik diantara dua elektroda dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E_x(x) = 0 \quad (3)$$

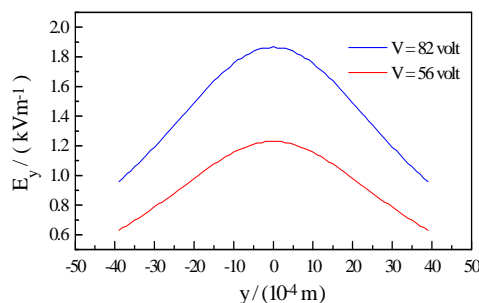
$$E_y(y) = \frac{Vd}{\left[2 \ln\left(\frac{d-a}{a}\right)\right] \left[\frac{d^2}{4} + y^2\right]} \quad (4)$$

$$E_z(z) = \frac{Vd}{\left[2 \ln\left(\frac{d-a}{a}\right)\right] \left[\frac{d^2}{4} - z^2\right]} \quad (5)$$

Persamaan (4) dan (5) sesuai dengan persamaan yang digunakan oleh Mahaworasilpa (1994) dalam menentukan parameter dielektrikum dari sel darah tikus. [5]



Gambar 2. Variasi z terhadap kuat medan listrik (E) untuk $y = 0$, $d = 8$ mm dan $a = 2$ mm.



Gambar 3. Variasi y terhadap kuat medan listrik (E) untuk $z = 0$, $d = 8$ mm dan $a = 2$ mm.

Pada gambar 2 terlihat contoh variasi nilai z pada bidang ekuator ($y = 0$) terhadap kuat medan listrik luar (E) yang dihasilkan oleh dua elektroda sejajar yang berjarak d dan diberi tegangan V . Sedangkan untuk variasi nilai y terhadap kuat medan listrik (E) untuk $z = 0$, dapat dilihat pada gambar 3.

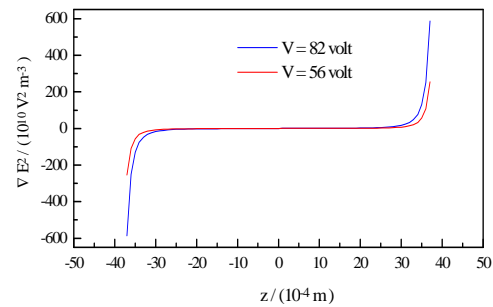
Pada bidang ekuator ($y = 0$), $E_x = 0$ sehingga kuadrat kuat medan listriknya memenuhi persamaan :

$$E^2 = \left[\frac{Vd}{2 \ln\left(\frac{d-a}{a}\right)} \right]^2 \left[\frac{1}{\left[\frac{d^2}{4}\right]^2} + \frac{1}{\left[\frac{d^2}{4} - z^2\right]^2} \right] \quad (6)$$

Jika operator del dikenakan pada persamaan (6) maka akan dihasilkan :

$$\nabla(E^2) = \frac{V^2 d^2}{2 \ln\left(\frac{d-a}{a}\right)} \frac{z \hat{z}}{\left[\frac{d^2}{4} - z^2\right]^3} \quad (7)$$

Kurva variasi z terhadap $\nabla(E^2)$ untuk $y = 0$ dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Variasi z terhadap kuat medan listrik $\nabla(E^2)$ untuk $y = 0$, $d = 8$ mm dan $a = 2$ mm.

Bentuk geometri elektroda berpengaruh terhadap medan listrik yang dihasilkan. Dari hasil simulasi yang dilakukan oleh diketahui bahwa susunan elektroda yang paling baik adalah polinomial. [4]

Momen dipol listrik sel model kulit bola akibat induksi medan listrik E dapat dituliskan [5]:

$$\mu(\omega) = 4\pi R^3 \epsilon_s f(\omega) E \quad (8)$$

Fungsi kompleks $f(\omega)$ dinamakan faktor Clausius-Mossotti dan didefinisikan sebagai berikut:

$$f(\omega) = \left[\frac{\epsilon'_{eff} - \epsilon'_s}{\epsilon'_{eff} + 2\epsilon'_s} \right] \quad (9)$$

Gaya dielektroforesis dapat diturunkan dari hasil interaksi antara medan listrik luar dengan momen dipol listrik induksi dalam sel. Dengan mengenakan operator del (∇) pada energi (U) dari sebuah dipol μ yang berada di dalam sebuah medan listrik E dan substitusi persamaan (8), gaya dielektroforesis dapat dituliskan [3][5]:

$$F_{DEP} = \nabla(\mu \cdot E) = 2\pi \epsilon_s R^3 \nabla(E^2) \text{Re}[f(\omega)] \quad (10)$$

Partikel atau sel yang berada di dalam medium dengan viskositas η ,

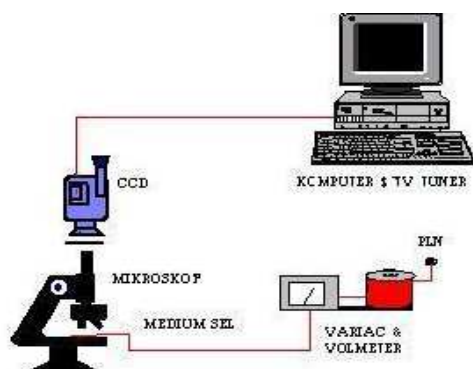
...

berbentuk bola (jari-jari R) dan bergerak secara translasi di bawah pengaruh gaya dielektroforesis (F_{DEP}) akan diimbangi oleh gaya Stoke (F_η), dimana $F_\eta = -6\pi\eta\epsilon_s Rv$.

Dengan menggunakan persamaan (10) maka kecepatan gerak partikel dapat ditentukan sebagai berikut [5]:

$$v = \frac{\epsilon_s R^2 \text{Re}[f(\omega)] \nabla(E^2)}{3\eta} \quad [11]$$

Metoda Penelitian



Gambar 5 . Susunan alat pengukur kecepatan gerak sel telur ikan

Pengaruh gradien medan listrik terhadap gaya dielektroforesis dapat diketahui dengan mengukur kecepatan gerak sel telur ikan untuk tegangan anatar dua elektroda yang bervariasi. Penentuan atau pengukuran gerak sel ikan emas dilakukan dengan menggunakan alat seperti yang terlihat pada gambar 5 dan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pengambilan sel telur dari perut ikan .
2. Sel telur ditaruh di dalam medium yang berisi aquades dan terletak diantara dua buah elektroda yang terbuat dari besi. Jari-jari elektroda = $(2,375 \pm 0,005) \cdot 10^{-3}$ m.
3. Medium diletakan di bawah mikroskop dengan perbesaran 40x.
4. Menghidupkan peralatan perekaman yang terdiri dari Video Handycam dan Komputer.
5. Elektroda diberi tegangan listrik AC dari generator sinyal atau dari sumber tegangan AC PLN setelah melewati pengatur tegangan.
6. Setelah sumber tegangan AC dihidupkan, rekam gerakan sel selama 5 detik dengan menggunakan program perekaman gambar dari TV Tuner.

7. Lakukan langkah 5 dan 6 untuk variasi tegangan listrik AC :20 –100 V.
8. Jalankan hasil rekaman per frame dengan menggunakan program media player yang ada dalam program Windows. Ukur jari-jari dan posisi sel dan waktu yang dibutuhkan. Dengan data tersebut dapat ditentukan kecepatan rata-rata gerak sel telur ikan mas.
9. Untuk memperkecil ukuran file hasil rekaman, ubah format file dari AVI ke MPEG dengan program Blaze Media Player.

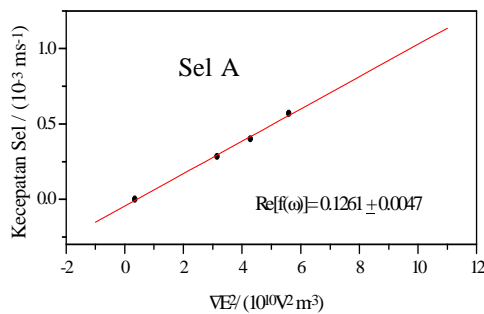
Hasil dan Pembahasan

Pengukuran gaya dielektroforesis dalam penelitian didasarkan pada asumsi bahwa sel yang diamati merupakan sebuah bola dielektrik yang kecil. Ketika sel biologi berada dalam medan listrik yang kuat maka sel akan mengalami deformasi (perubahan bentuk). Perubahan bentuk terjadi selama pengukuran dan khususnya ketika bergerak mendekati elektroda. Perubahan bentuk ini menyebabkan profil medan listrik tidak sesuai dengan asumsi yang digunakan dalam analisis, termasuk perubahan dalam penghitungan gaya Stokes. Untuk meminimalkan sumber konflik yang mungkin timbul, maka analisa gerakan sel hanya dilakukan pada daerah yang jauh dari elektroda.

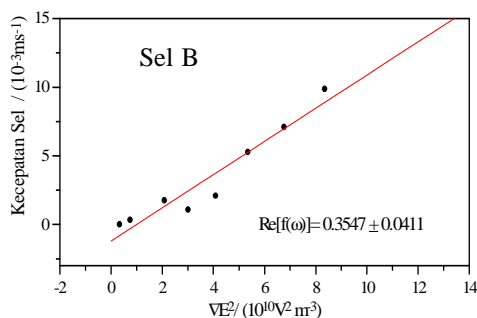
Untuk mengetahui kecepatan rata-rata gerak sel akibat gaya dielektroforesis, hasil rekaman gerakan sel diputar ulang menggunakan program Media Player sehingga posisi sel dan waktunya diketahui. Dengan data posisi sel dan waktu, kecepatan rata-rata sel dapat dihitung. Karena kecepatan sel tergantung pada gaya dielektroforesis yang bekerja pada sel, maka kecepatan sel dapat digunakan sebagai parameter untuk menunjukkan besar gaya tersebut.

Pengaruh ukuran sel terhadap gaya dielektroforesis dapat diketahui dengan membuat grafik kecepatan rata-rata sel sebagai fungsi $\nabla(E^2)$.

Dalam penelitian ini digunakan dua macam sel telur ikan mas dengan ukuran sel yang berbeda, yaitu: sel A dan sel B. Pada gambar 6 dan 7 terlihat bahwa hubungan antara kecepatan rata-rata sel dengan $\nabla(E^2)$ adalah linier untuk frekuensi medan listrik AC terukur yaitu: $(54,79 \pm 0,75)$ Hz..



Gambar 6. Grafik kecepatan gerak sel sebagai fungsi $\nabla(E^2)$, $R_{\text{sel}} = (6,0 \pm 0,5) \cdot 10^{-4} \text{ m}$.



Gambar 7. Grafik kecepatan gerak sel sebagai fungsi $\nabla(E^2)$, $R_{\text{sel}} = (12,0 \pm 0,5) \cdot 10^{-4} \text{ m}$.

Kesimpulan

Gaya dielektroforesis dipengaruhi oleh gradien medan listrik AC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan gerak sel telur ikan berbanding lurus dengan gradien medan listrik kuadrat (∇E^2). Besar

gradien ini dapat divariasikan dengan mengubah beda tegangan antara dua elektroda.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Idham Arif, Staf Fisika ITB yang telah memberikan izin pada penulis menggunakan fasilitas di Lab. Biofisika ITB selama melakukan eksperimen.

Daftar Pustaka

- [1] Pohl, H.A, 1978, *Dielectrophoresis*, Cambridge, Cambridge University.
- [2] Azam, M, 2001, *Studi Spektrum Dielektroforesis pada Sel Telur Ikan (Ciprinus Carpio)*, Berkala Fisika, Volume 4, Nomor 2.
- [3] Wangness, R.K. 1986, *Electromagnetic Fields*, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- [4] Huang, Y. dan Pethig, R., 1991, *Electrode Design for Negative Dielectrophoresis Applications*, Meas. Sci. Technol. 2, 1142-6.
- [5] Mahaworasilpa, T.L, Coster, H.G.L dan George, E.P., 1994, *Forces On Biological Cells Due to Applied Alternating (AC) Electric Fields*, *Dielectrophoresis*, Biochimica et Biophysics Acta 1193, 118-126